

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ÁCIDAS RÍO AZUFRE

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de
Ingeniero Mecánico**

AUTOR: Miguel Alberto Núñez Celi

ASESOR: Fernando Octavio Jiménez Ugarte

Lima, 22 de Febrero del 2022

RESUMEN

El informe adjunto tiene el objetivo de mostrar la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Acidas del Río Azufre, que tendrá como finalidad el tratamiento de aguas con un alto nivel de acidez y contenido de sólidos, y obtener como resultado un agua industrial con los parámetros físico-químicos adecuados y, luego ser utilizada en el proceso metalúrgico de obtención de oro en la Mina Pucamarca.

En la zona donde está ubicada la Mina Pucamarca no se dispone de fuentes de agua para uso industrial, decidiéndose por el tratamiento de las aguas altamente ácidas de un río cercano, logrando al mismo tiempo evitar el uso de fuentes de agua subterránea.

La planta se diseña con el objetivo un flujo resultante de 20 lit/seg con los parámetros de calidad correspondientes del flujo; en la etapa del estudio de Ingeniería de Detalle se inician las compras de los equipos críticos de la planta con largos plazos de entrega. Luego del diseño de la Planta de tratamiento, se realiza la licitación correspondiente para la adjudicación de la construcción del proyecto, coordinando el cronograma con la fecha de llegada de los equipos críticos.

La selección de los equipos críticos del proceso como los clarificadores y el decantador centrífugo, son claves para el resultado del proyecto, por lo que se tuvo que enviar información técnica muy detallada a los proveedores para que puedan entregar el equipo idóneo para las características del agua en cuestión. La alta eficiencia que demostró posteriormente el decantador centrífugo, permite tenerlo en cuenta y recomendarlo para aplicaciones de desaguado en otros tipos de procesos industriales y de tratamiento de sólidos (ej. Relaves).

El diseño de la planta considera la operación automática del sistema de tratamiento con mínima intervención de personal de operación. Los PLC que controlan cada etapa de los procesos, serán monitoreados por un sistema central ubicado en la sala eléctrica, donde también están ubicados los CCM. Además, considerando la distancia (14 Km) de esta planta a las oficinas centrales de la mina, se tiene instalado un cable de fibra óptica que permitirá realizar un monitoreo de esta planta en remoto y, así poder hacer un seguimiento en tiempo real de los parámetros de la planta en cada etapa del proceso.

Finalmente, el proyecto de esta planta de tratamiento fue un éxito; se cumplió con los objetivos esperados: un flujo de 20 lit/s y los parámetros de calidad previstos, con lo que se tiene un suministro de agua necesario para la planta sin recurrir a fuentes de agua subterránea o transporte de agua de otras regiones.

TABLA DE CONTENIDOS

	pag.
1. Resumen ejecutivo del trabajo realizado.....	1
2. Antecedentes.....	2-3
3. Descripción del trabajo realizado.....	3-12
4. Conclusiones.....	13
5. Bibliografía.....	14
6. Anexos.....	14-27



INFORME CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DEL RÍO AZUFRE

1. RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO

La Unidad Minera Pucamarca, operada por Minsur S.A. requiere de una fuente de agua continua como parte de su plan de aseguramiento de abastecimiento de agua para sus operaciones mineras.

El presente informe presenta los lineamientos y la descripción de los componentes principales de la planta de tratamiento de agua del río Azufre, el cuál prestará el servicio de abastecimiento de agua para procesos minero-metalúrgicos dentro de las instalaciones de la Unidad Minera.

La planta capta el agua el río Azufre, el cuál presenta las características de agua ácida de origen volcánico. El proceso que desarrolla la planta es neutralizar las aguas ácidas mediante el uso de hidróxido de calcio en disolución, comúnmente denominado lechada de cal. El nivel de acidez final, identificado a través del indicador PH, a obtener mediante este proceso de neutralización con hidróxido de calcio es de un valor de 7.5 aproximado, y el nivel de turbidez no deberá exceder las 10 NTU.

El acceso hasta el lugar del proyecto es por vía terrestre desde la ciudad de Tacna, hasta el distrito de Palca, ubicado a una altura de 4,300 msnm. La temperatura mínima del ambiente es de 7 °C bajo cero y la temperatura máxima de 9 °C.

Basado en la demanda de agua de Pucamarca, requerida para su uso en el proceso de recuperación de oro, se definió construir y operar una planta de tratamiento con una capacidad de tratamiento de agua de 20 lit/seg.

La planta de tratamiento del río Azufre, tiene como componentes principales:

1. Captación en el río Azufre.
2. Sistema de almacenamiento de cal hidratada y preparación de lechada de cal.
3. Sistema de neutralización y clarificación de agua.
4. Sistema de deshidratación de lodos.
5. Almacén, oficina y sala eléctrica.

La captación se realiza por un ligero embalsamiento mediante la instalación de gaviones en el lecho del río, dos tanques inundados en la orilla donde se instalarán las bombas que impulsen el agua hasta el tanque neutralizador de acidez; dentro de este tanque se neutraliza el agua ácida del río Azufre con una solución de hidróxido de calcio (lechada de cal), luego el agua será transferida por gravedad hasta el clarificador de contacto de sólidos.

El agua clarificada es impulsada al tanque de almacenamiento existente TK-1; mientras los sólidos generados en el proceso son almacenados en un tanque de acondicionamiento de lodos para, luego ser deshidratado en un equipo decantador centrífugo.

La planta se encuentra ubicada sobre cuatro plataformas niveladas aprovechando la pendiente natural del terreno; cuenta con accesos adecuados para la provisión y retiro de materiales producto de las operaciones y está cerrada por un cerco perimétrico de mallas metálicas.

En la zona se dispone de energía eléctrica suministrada por la Mina Pucamarca, a partir de una línea aérea de distribución de energía de 22.9 KV.

El CAPEX del proyecto como resultado de definir las obras a realizar y costear los materiales, insumos, suministros, traslado, mano de obra, entre otros, para la construcción del proyecto, asciende a la suma de US\$ 5.44 Millones.

El OPEX del proyecto asciende a un valor de US\$ 847.8 K. para un período de 01 año.

La Procura de los equipos se inició en Enero 2018, colocando las órdenes de compra de los equipos principales y los que tienen un mayor plazo de entrega.

La licitación para seleccionar el contratista de la construcción de la planta se realizó entre los meses de Mayo y Junio 2018.

La construcción se inició el 23 Julio 2018 y finalizó el 31 Enero 2019

2. ANTECEDENTES

La Mina Pucamarca requiere, como parte de su plan de aseguramiento de abastecimiento de agua para la operación minera en el mediano y largo plazo, desarrollar los proyectos de abastecimiento de agua que resulten más favorables en el estudio desarrollado por las áreas de ingeniería.

Se realizó un estudio de ingeniería Trade-Off, para evaluar las diferentes alternativas que pudieran dar solución al suministro de agua requerido para la operación de la mina. Se evaluaron 02 opciones: a) Sistema mixto de transporte por cisternas y Bombeo de agua desde El Ayro, una zona alto andina a 30 Km de la Mina Pucamarca; y b) Planta de tratamiento de

aguas ácidas del río Azufre, que se encuentra dentro del área de concesión de la Mina Pucamarca.

Para evaluar las opciones presentadas, se utilizó una metodología de pesos ponderados, en el que los aspectos considerados en esta evaluación fueron:

1. Entorno social y comunidades.
2. Permisos legales y medioambientales (plazos de permisos).
3. Capex (Inversión)
4. Opex.
5. Viabilidad técnica.
6. Política de Estado y cambio de gobierno.
7. Vida estimada de la mina.

Resultado de las evaluaciones se seleccionó la opción del Tratamiento de aguas ácidas. Es importante recalcar que los aspectos que marcaron esta decisión fueron los dos primeros, puesto que el tema social y los permisos legales son los de mayor riesgo.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Ubicación

El proyecto está ubicado en el departamento de Tacna, provincia de Tacna, dentro del distrito de Palca, ubicado a 120 Km de la ciudad de Tacna y a una altitud aproximada de 4280 msnm.

3.2 Objetivo del Control de Procesos de Planta Tratamiento de aguas ácidas

EL objetivo principal del control del proceso de esta planta, será obtener agua neutralizada con un pH promedio de 7.5 y una turbidez menor a 10 NTU, esta característica del agua se ajusta a la calidad esperada para utilizar esta agua en actividades de la UM Pucamarca. Para llegar a estas condiciones de calidad final de agua será necesario un control de las condiciones de operación.

La consigna del sistema de control será mantener las variables del proceso dentro de unos valores determinados que se consideran adecuados para obtener la calidad de agua requerida.

El sistema de control permitirá operar la PTA de una manera más fiable y sencilla, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables, y corregir toda desviación que se pudiera producir respecto a los valores de ajuste. El control del proceso deberá permitir:

- Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.
- Conseguir las condiciones de operación objetivo de forma rápida y continua.
- Trabajar correctamente bajo un amplio abanico de condiciones operativas.
- Manejar las restricciones de equipos y del proceso de forma precisa.

3.3 Criterios de diseño de planta de tratamiento de aguas ácidas.

De acuerdo a los requerimientos de la calidad del agua para la planta, se determinaron las características y objetivos a obtener del producto final del agua a la salida de la planta de tratamiento.

TABLA 1					
CRITERIOS DE DISEÑO PLANTA DE AZUFRE					
PARÁMETROS DEL AGUA RIO AZUFRE			PARÁMETROS CALIDAD AGUA ESPERADA		
INGRESO A PLANTA			SALIDA PLANTA		
ITEM	Unidad	Valor	ITEM	Unidad	Valor
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	10088	CAUDAL	L/s	20
PH	pH	1.85	PH	pH	7.5
SÓLIDOS TOTAL DISUELTOS	mg/L	3721.67	TURBIDEZ	NTU	<10
SULFATOS	mg/L	2651.35	CALCIO	mg/L	636.8
DUREZA TOTAL	mg/L	1099.2	MAGNESIO	mg/L	113.55
FLUORURO	mg/L	4.32	HIERRO	mg/L	0.78
ALUMINIO	mg/L	151.71	MANGANESO	mg/L	6.13
ARSÉNICO	mg/L	2.31	SODIO	mg/L	310.46
BARIO	mg/L	0.02	HIDRÓXIDO	mg/L	0.01
BORO (1.5)	mg/L	14.6	BORATO (BO3)	mg/L	79.43
CALCIO	mg/L	191.74	FLUORURO	mg/L	4.32
COBRE	mg/L	0.02	SULFATO (SO4)	mg/L	1541.82
CROMO	mg/L	0.03	SILICIO (SIO2)	mg/L	83.4
HIERRO	mg/L	87.3	TDS	mg/L	2776.69
MAGNESIO	mg/L	114.68			
MANGANESO	mg/L	8.44			
MOLIBDENO	mg/L	0			
PLOMO	mg/L	1.33			
SODIO	mg/L	310.46			
ZINC	mg/L	6.18			
SILICIO TOTAL	mg/L	84.1			
BICARBONATO	mg HCO3/L	0.96			
AZUFRE	mg/L	863.71			
COBALTO	mg/L	0.01			
NÍQUEL	mg/L	0.02			
FÓSFORO	mg/L	2.02			

Nota : Tabla tomada del Estudio de Ingeniería de la Mina Pucamarca.

3.4 Descripción de planta de tratamiento aguas ácidas río Azufre

El proceso de tratamiento utilizado para la planta del río Azufre se basa en la adición de cal hidratada para neutralizar la acidez y aumentar el pH a un valor del rango de 7-8. Esto efectivamente causa que los metales se precipiten como sólidos que pueden separarse por gravedad en el clarificador circular de contacto.

Los sólidos se concentran en el clarificador de contacto mediante un mecanismo de rastra inferior y un sistema de recirculación que devuelve lodos a un tanque de reciclaje que proporciona la mezcla con la cal hidratada. Esta mezcla densifica los sólidos, mejora las características de sedimentación y reduce el volumen de residuos. Los sólidos reciclados y la mezcla de cal hidratada se agregan a un reactor secuencial para aumentar el pH. El desbordamiento del tanque del reactor de pH será transportado por gravedad al clarificador de contacto. El desbordamiento del clarificador, que tiene una turbidez baja, se descarga en un tanque de agua de almacenamiento clarificado desde donde se bombea al Tk-1 (existente).

3.5 Captación de agua

El agua se suministra desde el río Azufre mediante una bomba sumergible (con VFD) instalada dentro del Río Azufre. El funcionamiento de la bomba puede ser manual y automático, dependiendo de la operación y la necesidad total de agua requerida que se bombeará al Tk-1. Cualquier condición de fallo en el proceso indicará al controlador que apague las bombas de captación, cerrando una válvula del efluente del Clarificador hacia el tanque de almacenamiento de agua. En ese momento, el flujo se dirigirá al sumidero y volverá al tanque de neutralización del pH para ajustar el valor al rango aceptable. Cuando el proceso se restablece, se reabrirá la válvula de control y reiniciará la bomba de captación de agua, devolviendo el proceso de tratamiento a la operación normal.

Este circuito de recirculación deriva continuamente hasta que se alcanza el nivel de pH correcto del tanque de neutralización, en cuyo punto se abre la válvula de descarga y se reanuda el flujo de agua. Se mantiene un volumen de agua mínimo en el sumidero de la planta para garantizar que la operación de circulación de derivación tenga suficiente agua disponible hasta que se restablezcan las condiciones correctas de pH del reactor.

3.6 Sistema de Preparación de Solución de Hidróxido de Calcio

Este sistema de preparación de Hidróxido de Calcio es automático, y comprende: Un Silo de acero para almacenamiento de cal (3.5 m de diámetro y 9.0 m de altura), un tanque de preparación de Lechada de Cal y un segundo tanque de almacenamiento de Lechada de Cal.

El sistema de lechada de cal cuenta con un software de programación Sodimate (o equivalente) que automáticamente prepara y dosifica la lechada utilizando controles de nivel en los tanques de lechada de cal. El sistema Sodimate tiene un panel de control integrado que gestiona la composición química y la alimentación en el proceso de tratamiento.

Mediante una receta previamente definida, con el uso de 02 tornillos alimentadores en serie, se extrae cal en polvo del Silo de cal que será descargado en el tanque de preparación de Lechada de cal, el cuál previamente ha sido llenado con agua en una cantidad monitoreada por un control de nivel y de acuerdo a receta. Esta preparación se realiza por Batch (lotes), y la frecuencia de estos Batch depende del flujo de agua ácida a ser tratada.

De este tanque de preparación de cal, se alimenta (mediante bombas peristálticas) la Lechada de Cal hacia el tanque de almacenamiento de Lechada, el cual se controla mediante los controles de nivel de ambos tanques y ligados al programa Sodimate.

Una bomba peristáltica suministra lechada de cal hidratada al tanque de pre-mezcla donde se mezclan los lodos recirculados bombeados desde el clarificador. El funcionamiento de la bomba peristáltica se controla mediante el punto de ajuste de pH de la solución de proceso en el reactor. El instrumento de pH primario en el tanque de neutralización se comunica con el sistema Sodimate y controla la velocidad de alimentación de la lechada de cal. Un instrumento de pH secundario en el tanque de neutralización verifica que el valor de pH informado por el instrumento de pH primario no se ha desviado de la calibración. Suena una alarma si el diferencial de pH entre los instrumentos de pH primario y secundario alcanza el nivel preestablecido en la programación, alertando al operador de que se necesita una calibración y/o limpieza para mantener el control del proceso.

3.7 Sistema de Clarificación

El floculante polimérico se agrega aguas arriba del Clarificador de contacto para aglomerar los sólidos y mejorar las características de sedimentación en la unidad clarificadora. Un medidor de flujo en la línea afluyente del proceso controla la bomba de alimentación de polímero de forma que se mantenga una concentración constante en el sistema del reactor, que se corresponde con la velocidad de alimentación del influente.

La solución del proceso de neutralización fluye por gravedad al centro del clarificador. Los sólidos se separan del flujo del proceso por gravedad y se acumulan en la parte inferior de la unidad clarificadora. Un mecanismo de rastras mueve los sólidos hacia un cono central que está conectado a las bombas de lodos (Underflow).

El agua clarificada que cumple con el nivel de turbidez adecuada, es expulsada al tanque de almacenamiento existente TK-1, mientras los sólidos continúan con su proceso.

La purga de lodos está en modo continuo con el flujo ajustado manualmente en base al contenido de sólidos mostrado por el indicador de densidad de lodo instalado en la línea de alimentación a la bomba. El variador de velocidad permite controlar el flujo de reciclado del lodo para lograr una densidad objetivo en el flujo inferior del clarificador.

Durante el pre-comisionamiento del tanque Clarificador, nos encontramos con la sorpresa que no se lograba entregar el suministro del flujo de agua completo desde el tanque de Neutralización hacia el Clarificador, debido a que el caudal debía descargar por gravedad y la diferencia de cotas era insuficiente para cumplir con la entrega del caudal de diseño. Para solucionar este problema, se instaló una bomba de agua para que realice el suministro completo del caudal de diseño, con lo cual se pudo continuar con el funcionamiento del sistema. El error de diseño se debió a una falla en las actualizaciones de los planos durante las diferentes revisiones del diseñador de la planta.

3.8 Sistema de Separación de Lodos

Un indicador de nivel de manta de lodo (SBLI) monitorea la acumulación de sólidos en el clarificador. El SBLI también controla la operación de la bomba de residuos de lodos. Cuando el nivel de sólidos alcanza un punto de referencia de alto nivel, la bomba de residuos de lodos se activa, enviando los lodos del desbordamiento del clarificador al tanque de acondicionamientos de lodos para un posterior acondicionamiento y deshidratación con la unidad decantadora-centrífuga. La bomba de purga de lodo permanece encendida hasta que el SBLI indique que el nivel de sólidos en el clarificador alcanza un punto de ajuste de bajo nivel pre-establecido. La bomba de purga de lodos puede estar en operación automática como en operación manual para el vaciado del clarificador cuando se requiera.

El afluente (Overflow) del clarificador se recoge en la parte superior de la unidad y se conduce por rebose al tanque de almacenamiento de agua. El tanque de acondicionamiento de lodos alimentará la centrífuga decantadora en función del nivel de lodo y el programa

operativo para procesar el lodo. La deshidratación de lodo será iniciada manualmente por el operador y supervisada hasta que el lodo en el tanque llegue a un punto bajo preestablecido. Los sólidos deshidratados se transportarán con una faja transportadora hacia la tolva de un camión o hacia el depósito de lodo y desde el depósito de lodo se cargará en un camión para su disposición final.

3.9 Sistema de Decantación Centrífuga.

El equipo Decantador Centrífugo, tiene la capacidad de separar la fase sólida y líquida en un proceso continuo, dentro de la misma máquina.

El decantador centrífugo consta de 02 elementos en movimiento, un rotor que gira a 4000 rpm y de velocidad variable impulsado por un motor eléctrico y un tornillo interno de baja velocidad que también es impulsado por un motor eléctrico.

El Decantador Centrífugo es alimentado por el agua de servicio y las bombas de lodo; el lodo, resultado de la deshidratación, es desplazado por una Faja Transportadora hacia una tolva, y desde este depósito se cargará en un camión para su disposición final.

El decantador recibe un flujo de alimentación de 1.4 a 5 lit/seg., con 3 a 5 % de contenido de sólidos. Se tienen 02 flujos de salida: un flujo de agua clarificada de 1.4 a 5 lit/seg., y el sólido deshidratado de 60% de contenido de sólidos, que descarga en la faja transportadora.

Obtener en la descarga un lodo con alto porcentaje de sólidos era crítico para el proyecto, tanto por enviar un flujo de agua limpia hacia el proceso que cumpla con la calidad requerida, como por el hecho que podía resultar inviable el tener lodos con demasiada agua, haciendo inmanejable su transporte y disposición final.

Se tuvo que realizar una gran cantidad de pruebas, variando y ajustando los diferentes parámetros, tanto en las etapas anteriores como en los parámetros de operación del decantador. Los resultados obtenidos cumplieron con las expectativas del proyecto, y esto ha determinado que este tipo de decantador sea seleccionado para otros proyectos de las minas de Minsur, en el que se requiera separar los sólidos para algún tipo de proceso.

3.10 Automatización y Control

El diseño del sistema de control e instrumentación de la planta de tratamiento de agua considera la operación automática del sistema de tratamiento con requerimiento mínimo de intervención del personal de operación. La operación de los equipos y el control de procesos

en la planta serán administradas con PLCs (Programmable Logic Controller) dedicados, que controlarán las señales de entrada y salida a cada equipo del proceso y los instrumentos de medición y monitoreo.

Los PLCs dedicados que controlan cada etapa del proceso (preparación de cal, clarificador, filtrado, etc.) serán monitoreados por un PLC central ubicado en la sala eléctrica tipo contenedor. Los sistemas eléctricos de suministro de energía (Grupo electrógeno, CCMs, UPS, etc.) también serán monitoreados por dicho PLC central.

La planta contará con la opción de control manual de todos los equipos a través de interruptores On-Off-Auto, en caso de pruebas, fallas o interrupción del sistema automático.

Todos los tanques estarán provistos de controles de nivel que monitorean y hacen actuar un sistema de alarma si el sobre flujo deviene en un problema. La condición de posible rebose parará la operación con el propósito de que el operador corrija la condición presentada. La dosificación de lechada de cal se hará de forma volumétrica y será controlada por el PLC basado en el monitoreo del PH del líquido en el tanque de mezcla inicial, así como en el efluente del tanque de mezcla y el efluente del rebose del tanque clarificador.

Los sólidos generados en el clarificador se bombearán mediante el uso de una bomba con variador de frecuencia que permitirá la variabilidad de caudales a bombear basados en la cantidad de lodos que el proceso creará. El nivel de agua en el tanque de almacenamiento de agua que bombea hacia el TK-1, se controlará de acuerdo a la demanda de agua del TK-1; por ejemplo si el tanque TK-1 está lleno, la planta de tratamiento de agua parará la producción de agua y esperará hasta que el proceso de mina comience a consumir el agua del TK-1.

El PLC central tendrá un interfaz de comunicación a una computadora (PC) controlada por el operador y contará con un software que permitirá alertar al operador cuando un equipo mecánico se apaga o se disparan las alarmas en la planta. El computador (PC) de control de la planta permitirá la operación de la planta desde la sala eléctrica.

El factor climático jugó un papel muy importante en la ejecución de este proyecto, puesto que en esta región de la sierra, de acuerdo a la data histórica, el esperado de las precipitaciones es bajo. Sin embargo, las precipitaciones de esta temporada llegaron a valores muy por encima de los máximos históricos, lo que impactó fuertemente en los trabajos de construcción. Las paralizaciones eran de prácticamente todos los días, con un promedio de 03 horas /día.

Se tomaron varias acciones para contrarrestar este impacto y poder cumplir con los plazos: aumento de recursos, cambios de horarios de trabajo, implementación de coberturas para poder realizar los trabajos, instalación de pararrayos provisionales en el área, desviación provisional del cauce del río puesto que la crecida del río llegó a magnitudes que llegaban arenaban totalmente la bocatoma de ingreso de agua hacia la planta.

Reflexión acerca del aporte de la Ingeniería mecánica en este proyecto :

Es importante destacar el gran aporte que la carrera de ingeniería mecánica significa en la ejecución de un proyecto, puesto que una característica de cualquier proyecto son los hechos imprevisibles, la presencia de situaciones nuevas y que impactan en el proyecto, tanto en costo como en plazo; y esto sucede a pesar de todos los análisis de riesgos que se realizan a lo largo de todas las etapas del desarrollo (estudios) del proyecto.

Considero que, durante la etapa de estudios de la carrera de ingeniería mecánica, obtenemos las siguientes competencias, que después serán vitales en la ejecución de los proyectos y, que tiene además, el valor agregado de pasar por una casa de estudios como la Pontificia Universidad Católica, que siempre ha sido muy exigente en los estándares de sus estudios:

- Alto nivel de exigencia en ejecución de trabajos: el nivel de exigencia recibido durante el desarrollo de su carrera, ha acostumbrado al egresado a soportar una alta presión y cumplir con los objetivos de una determinada tarea, venciendo las dificultades presentadas. Perseverancia
- Búsqueda de opciones a problemas: Esta competencia es inherente a los alumnos de esta carrera de ingeniería que, ante cualquier problema presentado, se buscan soluciones yendo al fondo del problema, no quedando solo en una solución provisional.
- Visión global de una obra.

PARTICIPACIÓN Y ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS.

1. Liderar el equipo de proyectos de la mina Pucamarca (El cliente) desde la etapa de inicio de los estudios de ingeniería hasta la ejecución del proyecto.

2. Responsable del monitoreo y cumplimiento de los hitos del proyecto, así como de las metas de cronograma, tiempo y costo.
3. Responsable de gestionar y supervisar las empresas contratistas que participaron en la construcción: Contratista principal, empresa responsable de la supervisión de calidad de las obras, así como contratistas menores.
4. Coordinación y evaluación en la licitación de los paquetes del proyecto.
5. Coordinar eficientemente con los contratistas de la obra durante la ejecución.
6. Revisión y aprobación de las valorizaciones de avance de la obra de los contratistas.
7. Responsable de las negociaciones durante la ejecución de la obra y el cierre final.
8. Asegurar que los contratistas implementen un sistema de gestión de seguridad y Medio Ambiente, que cumpla con los estándares de la Mina Pucamarca.
9. Coordinación permanente ante la empresa de ingeniería MWH (Montgomery Watson) quién elaboró los estudios de ingeniería, desde el diseño conceptual hasta la Ingeniería de Detalle. Entre las interacciones tenemos:
 - Definición de los criterios de diseño del proyecto: Esta definición es crítica, puesto que aquí se fija el alcance del proyecto y los requisitos del producto. En base a estos criterios se desarrollará toda la ingeniería, y deben participar los actores principales como: gerente del proyecto, las áreas operativas del cliente, área medioambiental, la empresa de ingeniería (MWH) y otros.
 - Elaboración de especificaciones técnicas de los equipos críticos de la planta, con las que se realizará la gestión de procura de los equipos. Si se trata de equipos de nueva tecnología, la coordinación es muy acuciosa y de mayor exigencia técnica, pues de esto dependerá que se cumplan con los criterios de diseño fijados. Es tan crítica esta fase, que incluso se enviaron a los fabricantes de los equipos, muestras del agua ácida para que realicen los ensayos pertinentes y garanticen los resultados esperados.
 - La revisión de los planos de ingeniería de detalle es una interacción de ida y vuelta, porque una vez que los planos son emitidos para construcción, cualquier omisión del alcance puede comprometer el alcance y plazo del proyecto y, por supuesto también el costo.
10. Liderar el equipo de proyectos que dirigió y supervisó la construcción de la planta de tratamiento de aguas ácidas, lo que implica funciones:
 - El área de proyectos forma dos equipos, un equipo encargado de la supervisión de la ejecución de la obra y el segundo equipo encargado del aseguramiento de calidad de

los trabajos. El equipo de supervisión de calidad es independiente del equipo de supervisión de obra, pero integrados para lograr un objetivo común.

- El avance de obra se vio comprometido por el clima adverso de la región, tomando algunas acciones para contrarrestarlo como: cambios de horario de trabajo, aumento de recursos del contratista ejecutor, etc.
 - Durante la construcción, por error de diseño, se instaló un equipo clarificador con una altura mayor a la requerida y no permitía la descarga del flujo por gravedad, por lo que se tuvo que implementar una bomba adicional, dejando para el futuro la corrección definitiva.
 - La planta de tratamiento contaba con 06 subsistemas que inicialmente no estaban integrados, pero durante la construcción el área de operación solicitó que se integre en un único sistema central que controle e integre todos los subsistemas, y así optimizar el personal de operación. Con la experiencia de otros proyectos, se contrató una empresa contratista que trabaje en modo Fast Track, desarrollando la ingeniería y al mismo tiempo construyendo los equipos necesarios para poder cumplir con los plazos.
11. Responsable de las coordinaciones para las pruebas de comisionamiento y puesta en marcha de la planta:
- El comisionamiento se realizó en dos etapas: primero se lleva a cabo el comisionamiento en vacío y con agua limpia para certificar el funcionamiento de todos los equipos, señales, alarmas, control de parámetros, controles automáticos, etc. En la segunda etapa se realizan las pruebas con el proceso real y verificando los resultados y parámetros que se obtienen en cada punto del proceso de la planta.
 - En la realización de estas pruebas participaron: el área de operación y mantenimiento de la mina, los proveedores de los equipos, un equipo del contratista ejecutor y el equipo de proyectos. La participación del área de operación es importante, porque al final de las pruebas ellos recibirán la planta de tratamiento certificando que está cumpliendo con el alcance especificado.
 - En estas pruebas, la parte más delicada era el proceso de deshidratación de los lodos en el decantador centrífugo, debido a que era una máquina de nueva tecnología y, a pesar de la garantía del fabricante, se tenían algunas dudas. Estas pruebas con el decantador tomaron 05 días hasta que se llegó al punto de operación ideal: densidad de los lodos de entrada, flujo de agua, velocidad del decantador, velocidad de las bombas, etc.

NOTA : Miguel Núñez trabajó para la Mina Pucamarca desde Junio 2013 hasta Marzo 2019 con el cargo de Gerente de Construcción de la mina por lo que, durante el período (Julio 2018 a Enero 2019) de construcción de la planta de Tratamiento de aguas ácidas también se desempeñó como Gerente de construcción y responsable directo del proyecto.

4. CONCLUSIONES

- El proyecto ha sido un éxito al haber cumplido con los objetivos y metas del proyecto y del producto. Del proyecto porque las metas de cronograma, alcance y costo estuvieron dentro de los esperado y, del producto porque se logró obtener un flujo de 20 lit/s y la calidad del agua cumplió con los requisitos de los criterios de diseño.
- Es altamente satisfactorio para la empresa minera, las comunidades y los organismos del estado la ejecución de este proyecto, porque se ha logrado impactar positivamente al medio ambiente, puesto que se están aprovechando un flujo de aguas ácidas que no tenían ningún uso y, ha evitado que se realice una extracción de aguas subterráneas de los acuíferos de la región. Es también necesario recalcar que, conseguir los permisos de los organismos del Estado para la ejecución de esta obra, fue gracias a la participación de las diferentes áreas de la empresa, como el área legal, el área de permisos, la alta gerencia, etc. Este es un proceso bastante largo.
- Ha sido fundamental para el éxito de este proyecto, el monitoreo permanente de las actividades del proyecto, en especial las actividades críticas, para lo cual también se contaba con una evaluación de riesgos al inicio del proyecto. Uno de estos riesgos es la ubicación del proyecto en una zona remota así como el clima adverso, que podrían impactar negativamente en la continuidad de los trabajos.
- Es importante mencionar el alto nivel de automatización logrado, funcionando con personal mínimo de operación y, permitirá que, una vez la planta llegue a una completa estabilización, se pueda tener un monitoreo de la operación desde las instalaciones de la mina a 10 km de distancia. La implementación de la automatización de esta planta de tratamiento, coincide con el plan maestro que tiene la mina de implementar en el mediano plazo, un centro de control para monitorear todas las instalaciones de la mina.
- El involucramiento de las áreas de operación de la mina en la ejecución de este proyecto conjuntamente con el equipo de proyectos, resultó decisivo para poder

cumplir con los plazos y objetivos fijados, considerando, por experiencia, que muchas veces el área de operación trata de no involucrarse hasta que el proyecto haya sido terminado y entregado.

5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Información Planta Tratamiento Aguas ácidas Río Azufre: Obtenido del Proyecto ejecutado por la Mina Pucamarca y de los estudios de ingeniería realizados para este proyecto.
2. Imágenes secuencia de construcción: Obtenidas por el propio Gerente de Proyectos durante la construcción.

6. ANEXOS

ANEXO A: Panel fotográfico secuencia de construcción

ANEXO B: Cronograma construcción Planta Tratamiento aguas ácidas río Azufre.

ANEXO C: Carta autorización Mina Pucamarca de elaboración del informe.



ANEXO A

PANEL FOTOGRÁFICO CONSTRUCCIÓN
PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ÁCIDAS



EBRIS

EXCAVACIONES PARA CIMENTACIONES





CIMENTACIÓN CLARIFICADORES

MONTAJE CLARIFICADORES





TOMA CAPTACIÓN AGUA RIO AZUFRE

MONTAJE EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS





MONTAJE SISTEMA ELECTRICO E INSTRUMENTACION

PRECOMISIONAMIENTO Y COMISIONAMIENTO DE PLANTA

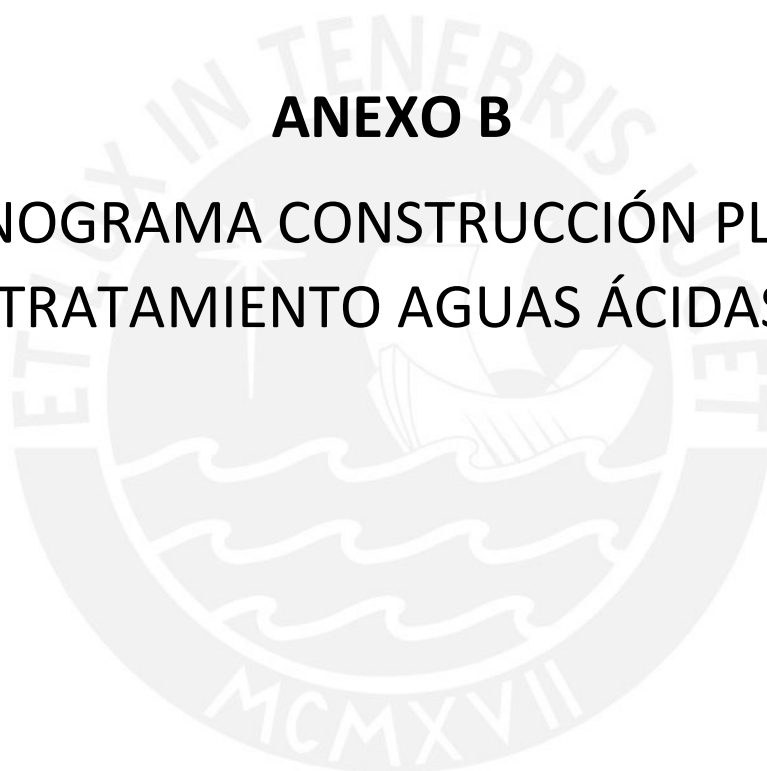


PLANTA EN OPERACIÓN PLENA

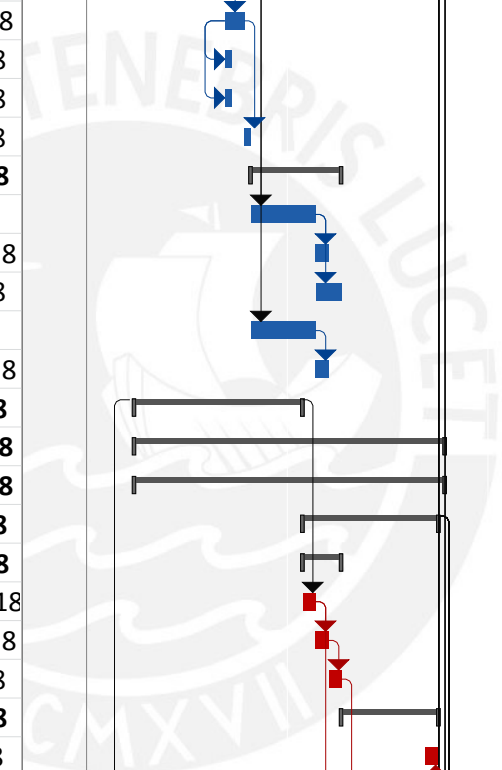


ANEXO B

CRONOGRAMA CONSTRUCCIÓN PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ÁCIDAS



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	julio							agosto			septiembre			octubre			noviembre			diciembre			enero			febrero		
						F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	
1		CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA	210 días	dom	dom																												
2		Inicio de Obra	0 días	dom 01/07/18	dom 01/07/18	01/07																											
3		Inicio y fin de nivelación de fundación	39 días	dom 01/07/18	jue 09/08/18																												
4		Trabajos Preliminares	7 días	dom 01/07/18	dom 08/07/18																												
5		Limpieza de Terreno	2 días	dom 01/07/18	mar 03/07/18																												
6		Nivelacion y Compacatacion de Superficie	2 días	mar 03/07/18	jue 05/07/18																												
7		Desarrollo de Ingeniería para construcción	3 días	jue 05/07/18	dom																												
8		Captación en Rio Azufre	32 días	dom 08/07/18	jue 09/08/18																												
9		Desvío temporal del río	12 días	dom 08/07/18	vie 20/07/18																												
10		Excavación de material suelto	4 días	dom 08/07/18	jue 12/07/18																												
11		Relleno de material propio	4 días	jue 12/07/18	lun 16/07/18																												
12		Barrera temporal con sacos de arena	4 días	lun 16/07/18	vie 20/07/18																												
13		Obras de captación	6 días	vie 20/07/18	jue 26/07/18																												
14		Excavación de material suelto	2 días	vie 20/07/18	dom 22/07/18																												
15		Gaviones tipo colchón reno	3 días	dom 22/07/18	mié 25/07/18																												
16		Geotextil no tejido de 270 gr/cm2	1 día	dom 22/07/18	lun 23/07/18																												
17		Geomembrana de PVC 0.5 mm	1 día	dom 22/07/18	lun 23/07/18																												
18		Relleno para estructuras	1 día	mié 25/07/18	jue 26/07/18																												
19		Equipos en Captacion	14 días	jue 26/07/18	jue 09/08/18																												
20		Suministro de Bombas de agua	10 días	jue 26/07/18	dom																												
21		Instalacion de Bombas de agua	2 días	dom	mar 07/08/18																												
22		Suministro y Montaje Tuberia de	4 días	dom	jue 09/08/18																												
23		Suministro de Tanque en captación Rio	10 días	jue 26/07/18	dom																												
24		Montaje de Tanque en captación Rio	2 días	dom	mar 07/08/18																												
25		Obras Civiles en Planta de Tratamiento	26 días	dom 08/07/18	vie 03/08/18																												
92		Inicio y fin de obras civiles	48 días	dom 08/07/18	sáb 25/08/18																												
93		Obras Civiles	48 días	dom 08/07/18	sáb 25/08/18																												
94		Fase I - Obras Civiles	21 días	vie 03/08/18	vie 24/08/18																												
95		Construccion de Plataforma	6 días	vie 03/08/18	jue 09/08/18																												
96		Limpieza y desbroce	2 días	vie 03/08/18	dom 05/08/18																												
97		Excavación de material suelto	2 días	dom 05/08/18	mar 07/08/18																												
98		Relleno de material propio	2 días	mar 07/08/18	jue 09/08/18																												
99		Drenaje de Plataforma	15 días	jue 09/08/18	vie 24/08/18																												
100		Concreto f'c=28 MPa	2 días	mié 22/08/18	vie 24/08/18																												
101		Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2	2 días	lun 20/08/18	mié 22/08/18																												
102		Excavación de cunetas	2 días	jue 09/08/18	sáb 11/08/18																												
103		Mampostería de piedra	2 días	sáb 11/08/18	lun 13/08/18																												
104		Encofrado plano	7 días	lun 13/08/18	lun 20/08/18																												
105		Suministro e instalación de Tubería pvc	2 días	lun 20/08/18	mié 22/08/18																												
106		Fundaciones	18 días	dom 05/08/18	jue 23/08/18																												
107		Excavación para estructura (material su	2 días	dom 05/08/18	mar 07/08/18																												
108		Compactación y nivelación de superfici	2 días	mar 07/08/18	jue 09/08/18																												
109		Concreto f'c=28 MPa	4 días	jue 16/08/18	lun 20/08/18																												



Proyecto: Planta Tratamiento Agu Fecha: mié 09/05/18	Tarea		Tareas externas		Tarea manual		Sólo fin	
	División		Hito externo		Sólo duración		Fecha límite	
	Hito		Tarea inactiva		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
	Resumen		Hito inactivo		Resumen manual		División crítica	
	Resumen del proyecto		Resumen inactivo		Sólo el comienzo		Progreso	

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	julio			agosto			septiembre			octubre			noviembre			diciembre			enero			febrero	
						F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P	M	F	P
153		Montaje del Decanter de la Fase II -	5 días	dom	vie 28/09/18																							
154		Suministro de Faja Transportadora	30 días	vie 24/08/18	dom																							
155		Instalación de Faja Transportadora	5 días	dom	vie 28/09/18																							
156		Fase III	35 días	sáb 25/08/18	sáb 29/09/18																							
157		Suministro Tanque de	30 días	sáb 25/08/18	lun 24/09/18																							
158		Montaje Tanque de	5 días	lun 24/09/18	sáb 29/09/18																							
159		Clarificadores	34 días	vie 24/08/18	jue 27/09/18																							
160		Fase II	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
161		Suministro Tanque clarificador y	30 días	vie 24/08/18	dom																							
162		Montaje Tanque clarificador y	3 días	dom	mié 26/09/18																							
163		Fase III	33 días	sáb 25/08/18	jue 27/09/18																							
164		Suministro Tanque clarificador y	30 días	sáb 25/08/18	lun 24/09/18																							
165		Montaje Tanque clarificador y	3 días	lun 24/09/18	jue 27/09/18																							
166		Neutralización	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
167		Fase I	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
168		Suministro Tanque de pre-mezcla	30 días	vie 24/08/18	dom 23/09/18																							
169		Montaje Tanque de pre-mezcla	3 días	dom 23/09/18	mié 26/09/18																							
170		Suministro Tanque de neutralización	30 días	vie 24/08/18	dom																							
171		Montaje Tanque de neutralización de	3 días	dom	mié 26/09/18																							
172		Fase II	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
173		Suministro Tanque de pre-mezcla	30 días	vie 24/08/18	dom 23/09/18																							
174		Montaje Tanque de pre-mezcla	3 días	dom 23/09/18	mié 26/09/18																							
175		Suministro Tanque de neutralización	30 días	vie 24/08/18	dom																							
176		Montaje Tanque de neutralización de	3 días	dom	mié 26/09/18																							
177		Agua Tratada	36 días	vie 24/08/18	sáb 29/09/18																							
178		Fase II	35 días	vie 24/08/18	vie 28/09/18																							
179		Suministro Tanque de	30 días	vie 24/08/18	dom																							
180		Montaje Tanque de almacenamiento	5 días	dom	vie 28/09/18																							
181		Fase III	35 días	sáb 25/08/18	sáb 29/09/18																							
182		Suministro Tanque de	30 días	sáb 25/08/18	lun 24/09/18																							
183		Montaje Tanque de almacenamiento	5 días	lun 24/09/18	sáb 29/09/18																							
184		Tanque Hidroneumatico 200-TK-160	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
185		Suministro de Tanque Hidroneumatico	30 días	vie 24/08/18	dom																							
186		Montaje de Tanque Hidroneumatico Fase	3 días	dom	mié 26/09/18																							
187		Equipo de Polimeros	33 días	vie 24/08/18	mié 26/09/18																							
188		Suministro Equipo preparador y	30 días	vie 24/08/18	dom																							
189		Montaje Equipo preparador y	3 días	dom	mié 26/09/18																							
190		Tuberías y Válvulas con accesorios	21 días	mié 26/09/18	mié 17/10/18																							
191		Suministro e instalación de Tuberías y	3 días	mié 26/09/18	sáb 29/09/18																							
192		Suministro e instalación de Tuberías y	3 días	sáb 29/09/18	mar 02/10/18																							
193		Suministro e instalación de Tuberías y	3 días	mar 02/10/18	vie 05/10/18																							
194		Suministro e Instalación de Heat Tracing	2 días	vie 05/10/18	dom																							
195		Suministro e Instalación del Aislamiento	2 días	dom	mar 09/10/18																							

Proyecto: Planta Tratamiento Agu
Fecha: mié 09/05/18

Tarea		Tareas externas		Tarea manual		Sólo fin	
División		Hito externo		Sólo duración		Fecha límite	
Hito		Tarea inactiva		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
Resumen		Hito inactivo		Resumen manual		División crítica	
Resumen del proyecto		Resumen inactivo		Sólo el comienzo		Progreso	

Pucamarca, 19 Setiembre 2020

Señores

PUCP Pontificia Universidad Católica del Perú

Atención : **Srs. Facultad de Ciencias e Ingeniería**

**Asunto: Autorización presentación Informe Profesional CONSTRUCCIÓN PLANTA
TRATAMIENTO AGUAS ACIDAS EN PUCAMARCA.**

De nuestra consideración,

Sírvase la presente para hacerle llegar mis cordiales saludos, y poner en su conocimiento que, autorizo al Sr. Miguel Alberto Núñez Celi con DNI : 07930963, que presente un Informe Profesional de LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS EN PUCAMARCA, quien durante dicha construcción se desempeñó como Gerente de Construcción de la obra en mención.

Atentamente



Ing. Luis Esteban Ingaroca

Gerente General

Unidad Minera Pucamarca